



Esperienze di tracciamento GNSS della sentieristica in differenti condizioni di copertura fogliare

C.Calcagno, T.Cosso, B.Federici, D.Sguerso
(DICAT, Università degli studi di Genova)
tiziano.cosso@unige.it



Il sistema GNSS

Indice:

- Il sistema GNSS
- I sistemi di riferimento
- I test effettuati
- Analisi dei risultati



Indice:

- Il sistema GNSS
- I sistemi di riferimento
- I test effettuati
- Analisi dei risultati



Indice:

- Il sistema GNSS
- I sistemi di riferimento
- I test effettuati
- Analisi dei risultati



Indice:

- Il sistema GNSS
- I sistemi di riferimento
- I test effettuati
- Analisi dei risultati



Il sistema GNSS

Rilievi Satellitari

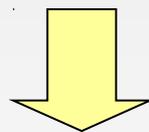
Metodo di stima 3D dei punti, basato sulla ricezione di segnali satellitari

misure di codice → precisioni metriche
misure di fase → precisioni centimetriche

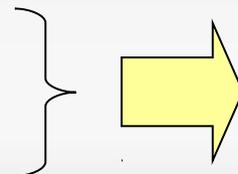
Elaborazione Post-processing → elaborazioni successive al rilievo

Real time Kinematic → elaborazione "in loco"

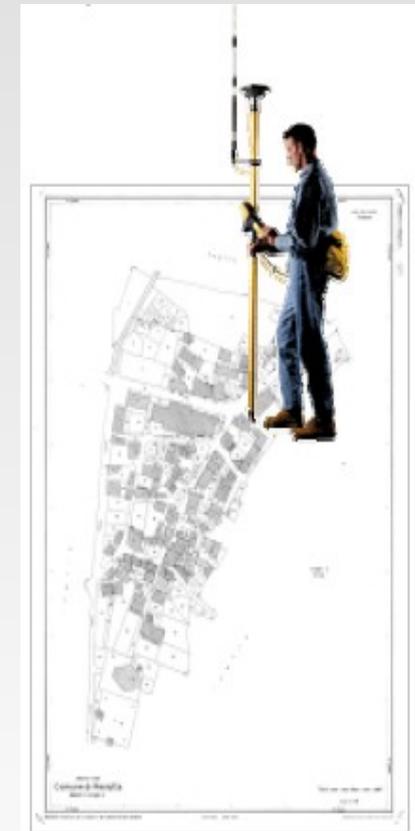
Sistema di posizionamento che coinvolge sempre più utenti non specializzati che di conseguenza necessitano di:



- Semplicità
- Velocità
- Precisione



Real Time

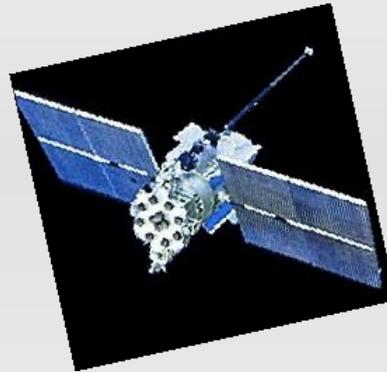


Applicazioni: rilievi territoriali, reti tecnologiche, tracciamenti stradali, catastali, ...



Il sistema GNSS

...attualmente GPS ma anche...



GLONASS

Paese costruttore: Russia

1° satellite: ottobre 1982

Costellazione completa

21+3 satelliti



COMPASS

Paese costruttore: Cina

1° satellite: 14 aprile 2007

Costellazione completa

30 satelliti



GALILEO

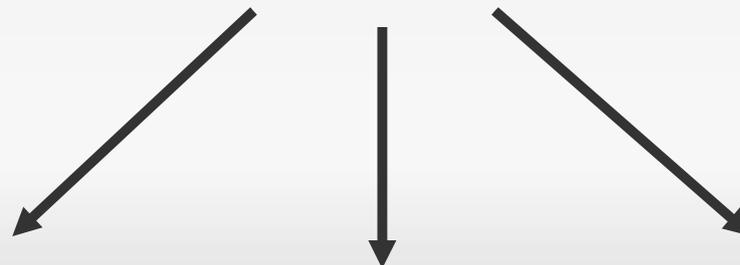
Paese costruttore: Europa

1° satellite: 28 dicembre 2005

Costellazione completa

27+3 satelliti

GNSS



Maggiore velocità

Maggiore controllo

Maggiore fruibilità del servizio



Il sistema GNSS

Osservabili

$$c \Delta t^{\text{oss}} = \sqrt{(x^S - x_R)^2 + (y^S - y_R)^2 + (z^S - z_R)^2} + (c \delta t_{\text{sincr.}} + c \delta t_{\text{atm.}}) \leftarrow 4^{\text{a}} \text{ incognita di tempo globale}$$

Misure di codice

L'osservabile è il tempo di volo

4 incognite (X, Y, Z, dt)

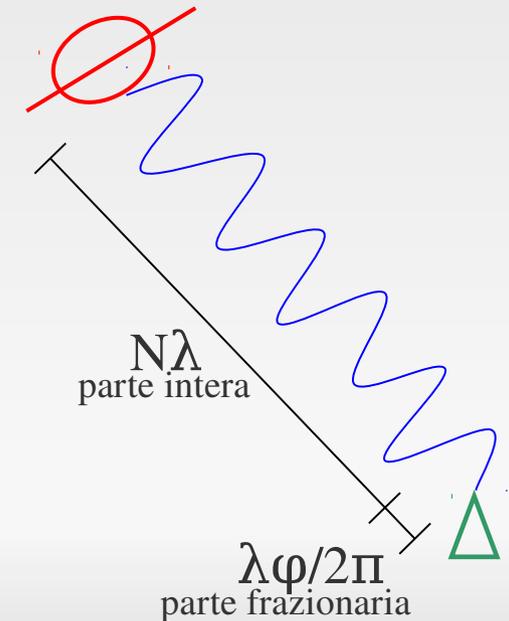
$$\lambda \left(\frac{\varphi}{2\pi} + \Delta N \right)^{\text{oss}} = \sqrt{(x^S - x_R)^2 + (y^S - y_R)^2 + (z^S - z_R)^2} + (c \delta t_{\text{sincr.}} + c \delta t_{\text{atm.}}) \leftarrow 4^{\text{a}} \text{ incognita di tempo globale}$$

$$- \lambda N_0^S \leftarrow \text{ulteriore incognita } 1 \forall \text{ Sat.}$$

Misure di fase

L'osservabile è lo sfasamento del segnale

4 incognite + ambiguità di fase





Posizionamento in assoluto

Il metodo si presta ad applicazioni navigazionali

L'utente ha un solo ricevitore

Bassa precisione

Precisioni:

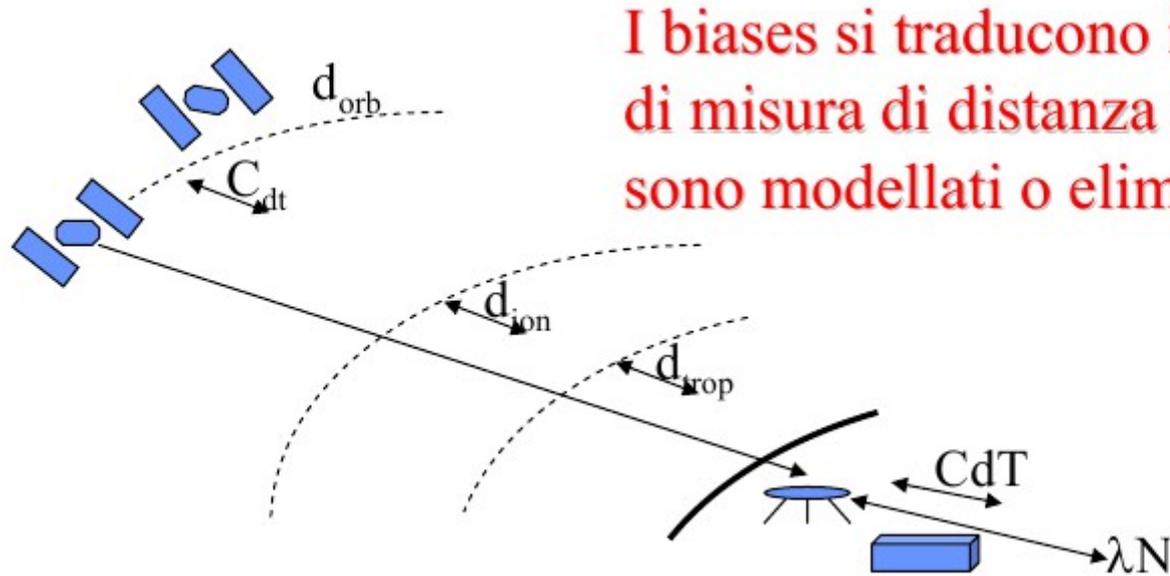
Alcuni metri per rilievi statici

Decine di metri per rilievi cinematici



Il sistema GNSS

Error Budget





Il sistema GNSS

Effetti sul segnale		
di modello	Orologio satellite	≈ 1 m
	Orologio ricevitore	10-100 m (*)
	Effemeridi broadcast	1 m
	Effemeridi precise	0.03 m
	Ionosfera	20-50 m
	Troposfera	2-10 m
locali	Multipath	1 cm - 10 m
	Centro di fase	0.1 - 2 cm

(Crespi, M. 1991; Leick, A. 1997; Sguerso, D. 1993)

Gli effetti si intendono applicati all'osservabile, ossia alla distanza Sat-Ric

(*) oggi notevolmente diminuiti



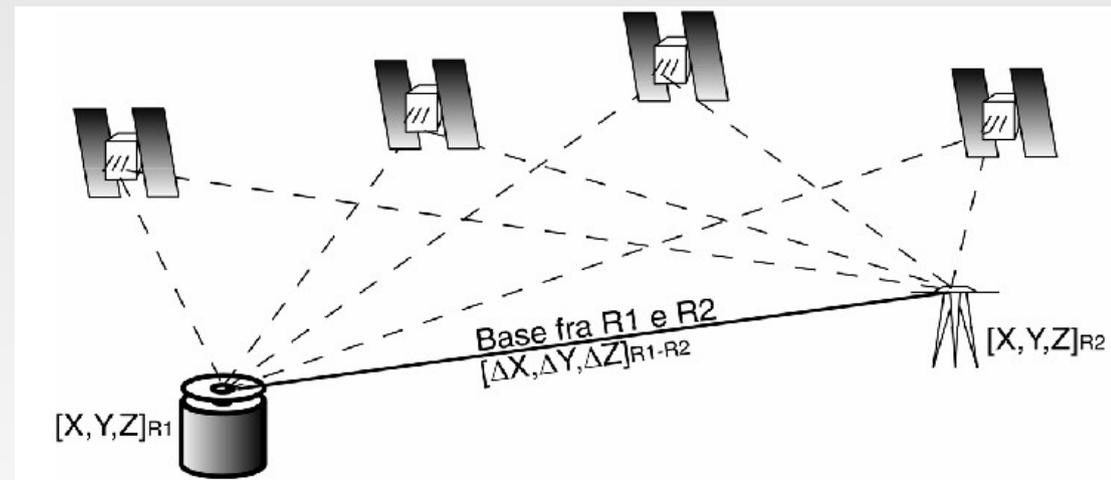
Il sistema GNSS

Posizionamento in relativo

Le osservazioni vengono opportunamente combinate per valutare la dimensione 3D del vettore base tra i due ricevitori

Precisioni dipendenti da:

- Tipo di ricevitori
- Distanza fra i ricevitori
- Durata del rilievo
- Metodo di Elaborazione dati



Precisioni:

metriche per misure di codice

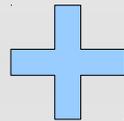
centimetriche per misure di fase



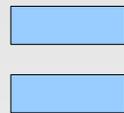
Il sistema GNSS

Posizionamento in RT in appoggio a Stazioni Permanenti

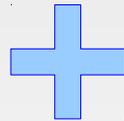
La Stazione Permanente è di posizione nota



Sono note le posizioni dei satelliti



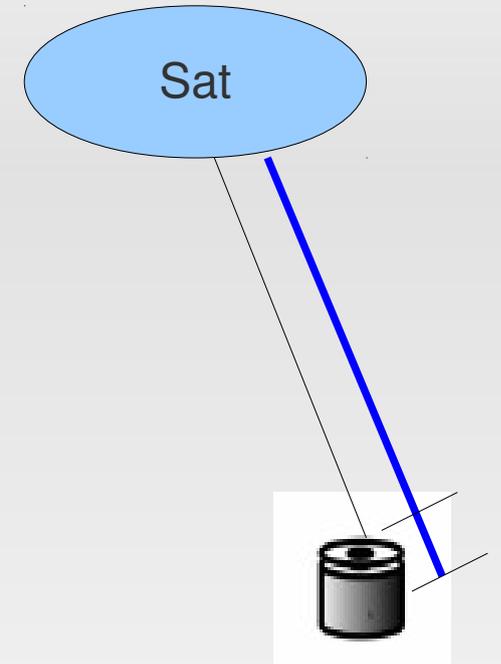
E' nota la reale distanza Sat-Ric



Si effettua l'osservazione affetta da errore



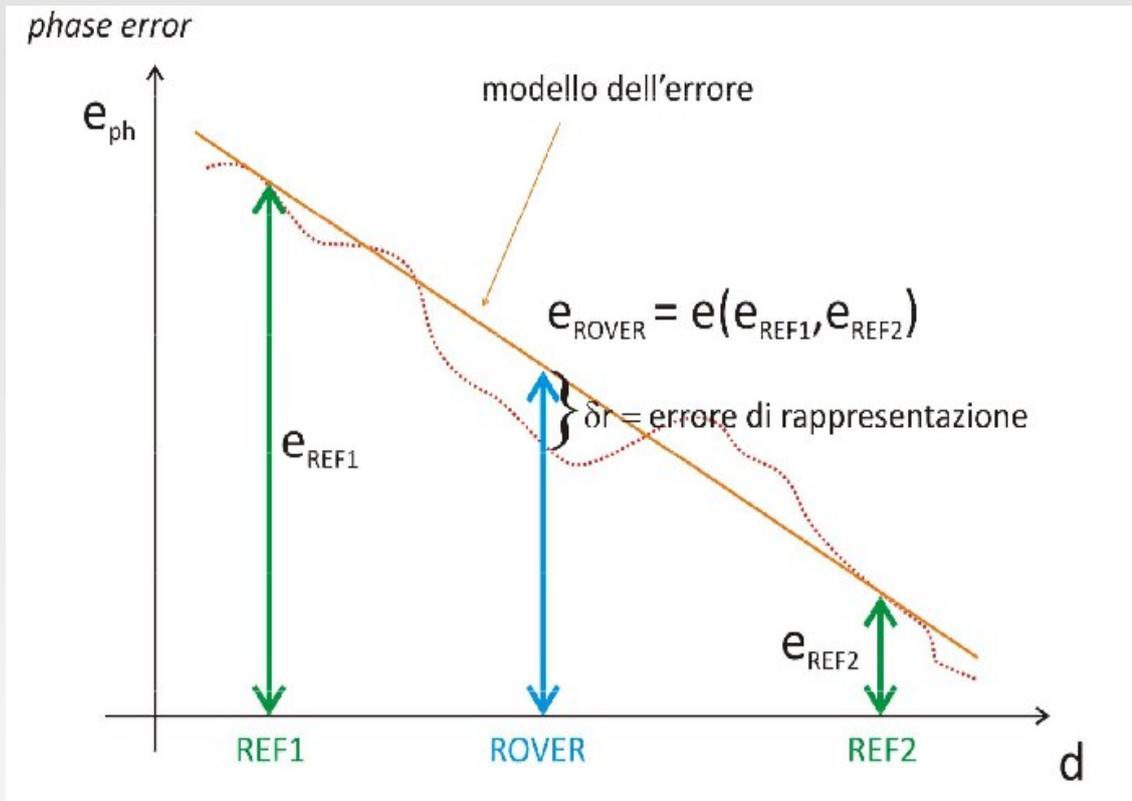
Si stima il bias in corrispondenza della singola stazione permanente





Il sistema GNSS

Posizionamento NRTK in appoggio ad una rete di SP

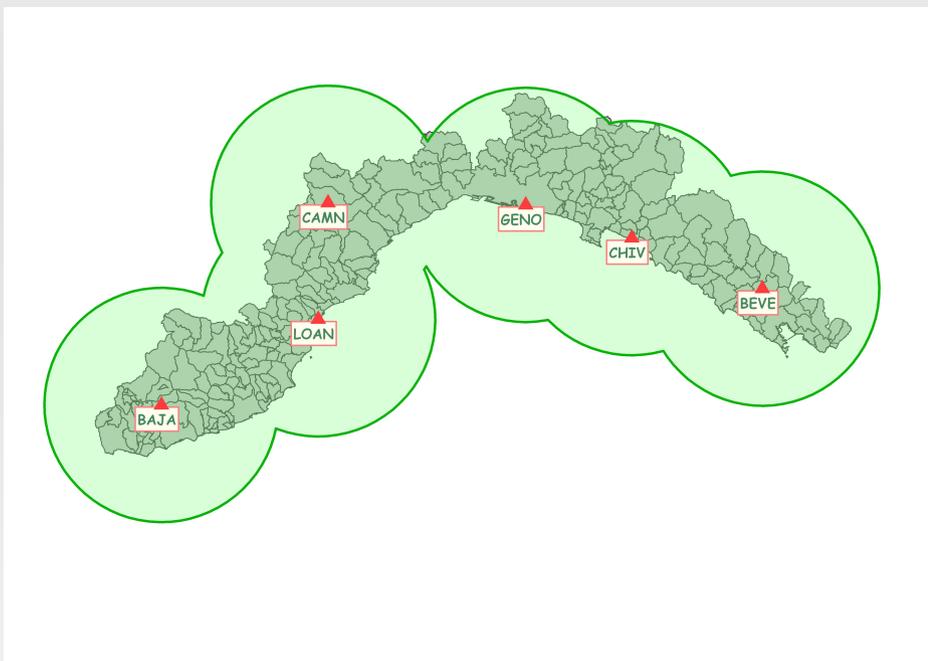


Precisioni:
 sub-metriche per misure di codice
 centimetriche per misure di fase



Il sistema GNSS

Il Servizio di posizionamento della Regione Liguria



Contatti assistenza [Link](#)

Servizio di posizionamento GNSS

IL PROGETTO	RETE DI STAZIONI PERMANENTI GNSS	ISCRIZIONE AL SERVIZIO	ARCHIVIO NEWS
-------------	----------------------------------	------------------------	---------------

Post Processing
Real Time
Monografie

Home / Rete di Stazioni Permanenti GNSS / Monografie

- Monografie Stazioni
 - BAJA - (BAJARDO)
 - LOAN - (LOANO)
 - CAMN - (CAIRO MONTENOTTE)
 - GENU - (GENOVA)
 - CHIV - (CHIAVARI)
 - BEVE - (BEVERINO)

Map data ©2010 Tele Atlas

- 6 SP
- GPS+GLONASS
- Servizio RTK e PP
- Fase sperimentale gratuita
- Eventi di formazione connessi al servizio



Il sistema GNSS

Ricapitolando → Precisioni plano/altimetriche

		Assoluto [m]	Relativo[m]	NRTK[m]
Codice	Statico	5 - 10	2 - 3	/
	Cinematico	10 - 20	5 - 10	2
Fase	Statico	/	0.01	/
	Cinematico	/	0.03	0.03

CONDIZIONI:

PDOP < 2

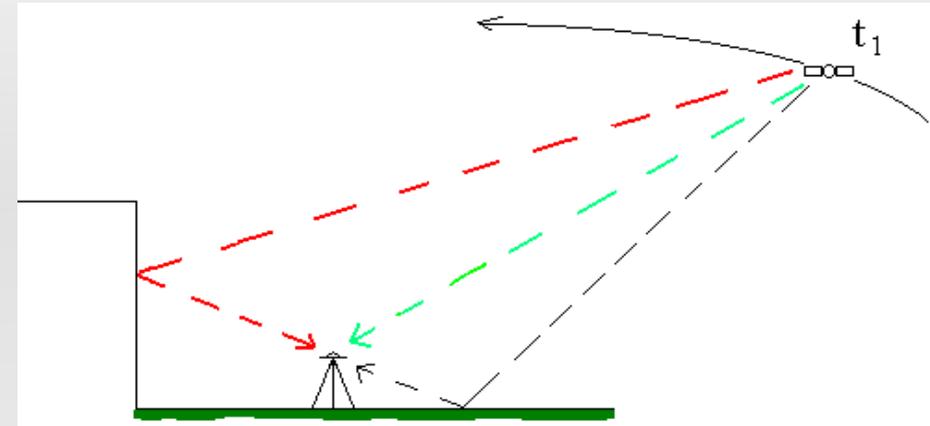
6 SVs

Cutoff 10°

Baseline < 10 km



Gli effetti locali: Multipath



- È generato dalla contemporanea ricezione del segnale proveniente direttamente dal satellite e di altri segnali riflessi da superfici circostanti l'antenna (alberi, superfici d'acqua, edifici.....).
- Tipicamente le superfici che possono creare dei problemi di questo tipo si trovano a distanze non superiori ai 30 m dall'antenna.
- L'effetto è tanto più rilevante quanto più è basso l'angolo di incidenza dei segnali → infatti segnali emessi da satelliti bassi sull'orizzonte risentono maggiormente di tale problema
- L'effetto immediato è che il ricevitore misura due distanze differenti con lo stesso satellite.
- Da un punto di vista analitico l'effetto si evidenzia in un peggioramento del rapporto S/R



Indice:

- Il sistema GNSS
- I sistemi di riferimento
- I test effettuati
- Analisi dei risultati



Il sistema di riferimento Internazionale

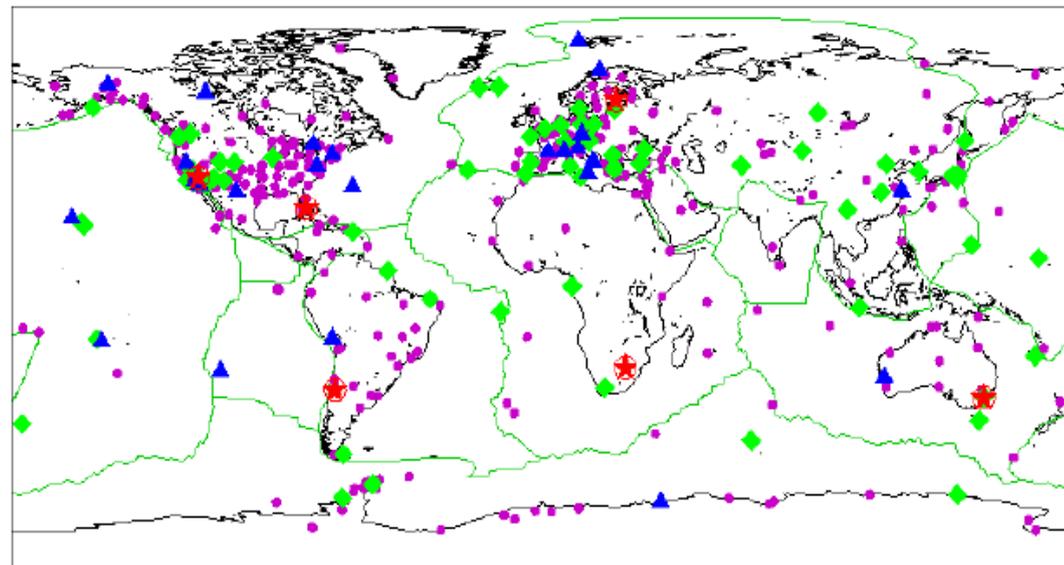
ITRFxx (IERS Terrestrial Reference Frame xx)

È sviluppato dallo IERS (International Earth Rotation Service), tiene conto delle coordinate e delle velocità dei vertici delle reti mondiali VLBI (Very Long Baseline Interferometry), SLR (Satellite Laser Ranging), LLR (Lunar Laser Ranging), DORIS (Doppler orbitography and radiopositioning integrated by satellite) e GPS all'anno xx

ITRF89, ..., ITRF97, ITRF2000.

Una realizzazione di ITRS (ITRF) consiste nel catalogo delle coordinate delle Stazioni Permanenti che hanno contribuito alla soluzione

Nell'immagine, le SP utilizzate nella soluzione ITRF2000





Il sistema di riferimento IGS

IGSxx → IGS05

Realizzazione GPS dell'ITRS, curata da IGS (International GNSS Service, <http://igscb.jpl.nasa.gov>) per migliorare la consistenza interna non garantita da ITRFxx [in quanto integrazione di diverse misure (VLBI, LLR, SLR, GPS e DORIS)]

→ di precisione non paragonabile all'ITRF, ma introdotto come supporto

alle sole misure GPS, in quanto intrinsecamente più coerente

→ si basa su rete di stazioni permanenti GPS “di qualità”, selezionate da IGS



Il sistema di riferimento nazionale italiano

ETRF2000 - 2008.0

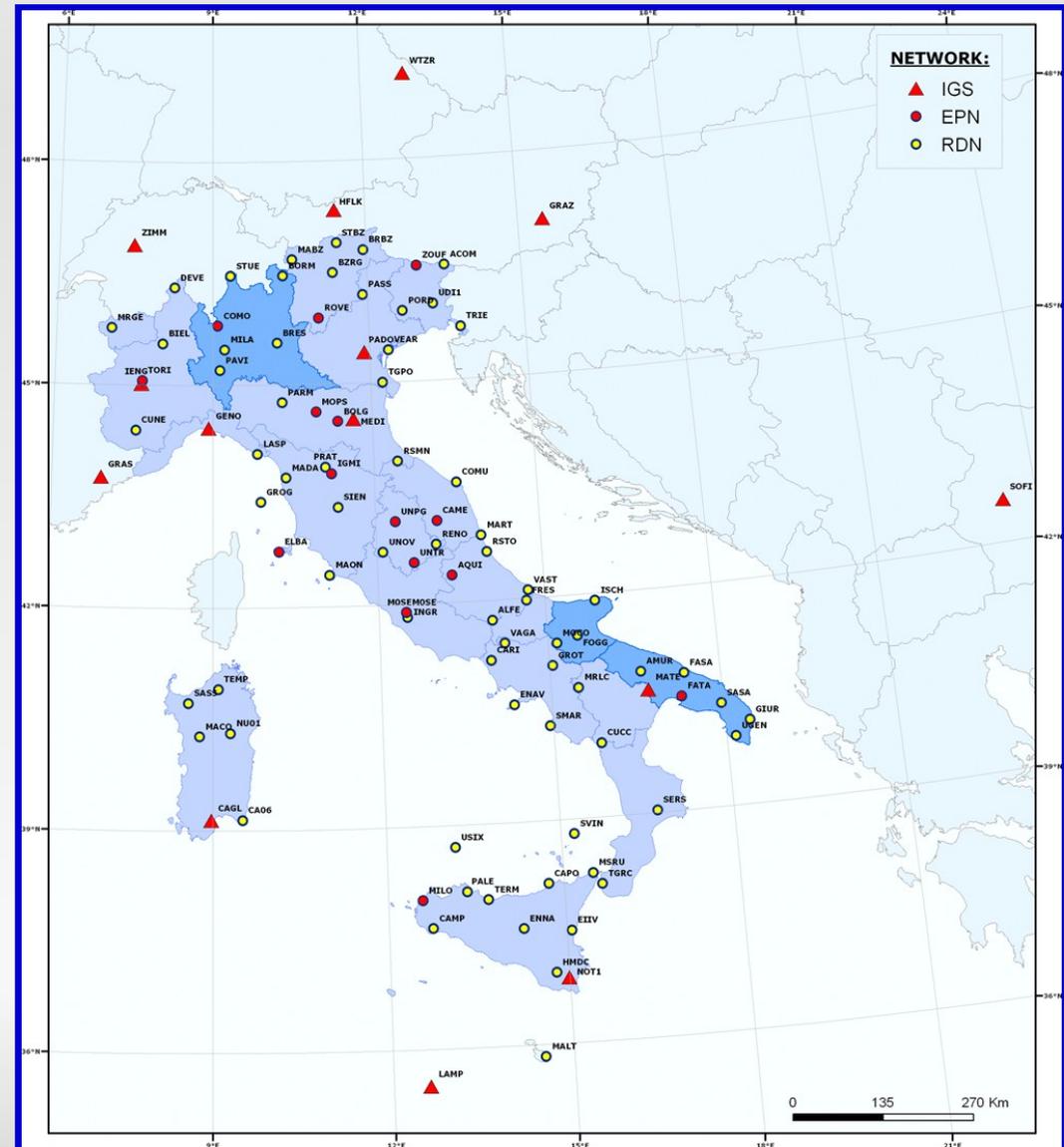
In vigore dal 1 gennaio
2009

Materializzato dalla Rete
Dinamica Nazionale (RDN)
di ordine 0

99 stazioni
di cui 13 stazioni IGS

monumentate
permanentemente,

ma non connesse
permanentemente;



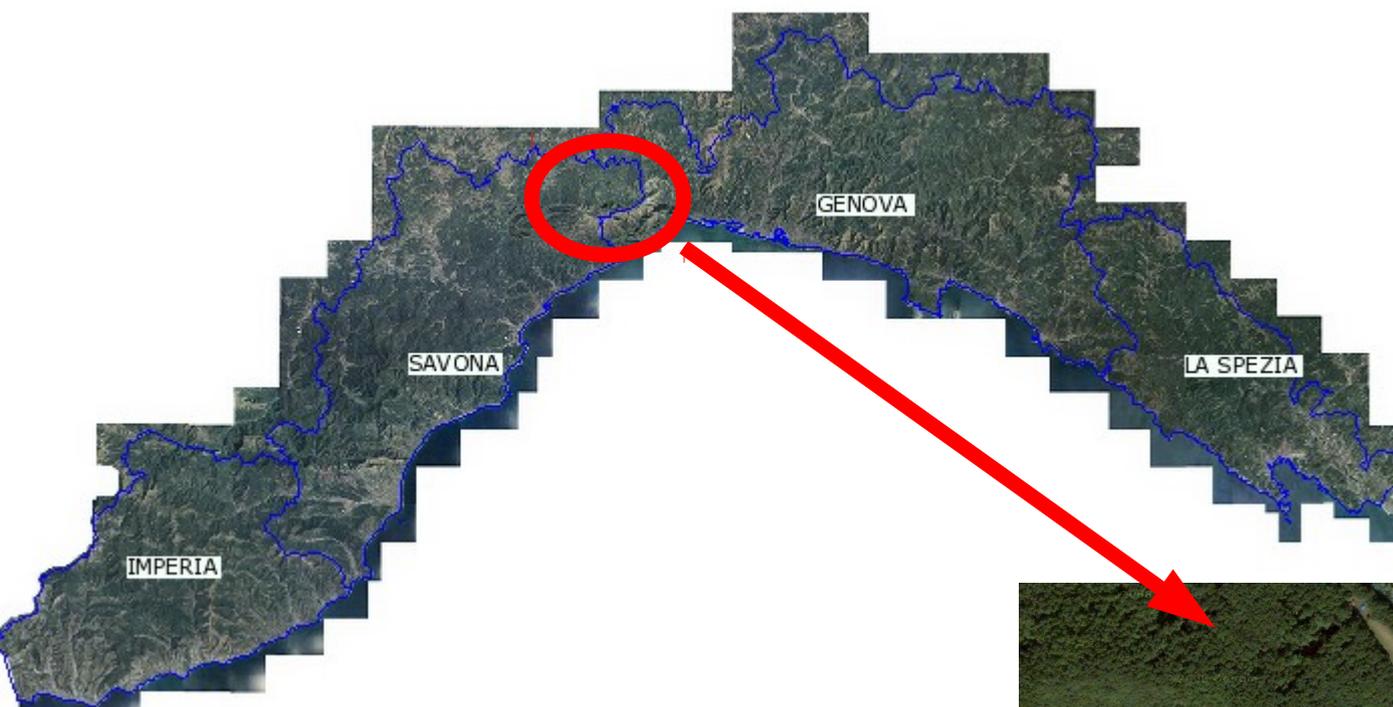


Indice:

- Il sistema GNSS
- I sistemi di riferimento
- I test effettuati
- Analisi dei risultati



Inquadramento del luogo: i percorsi scelti



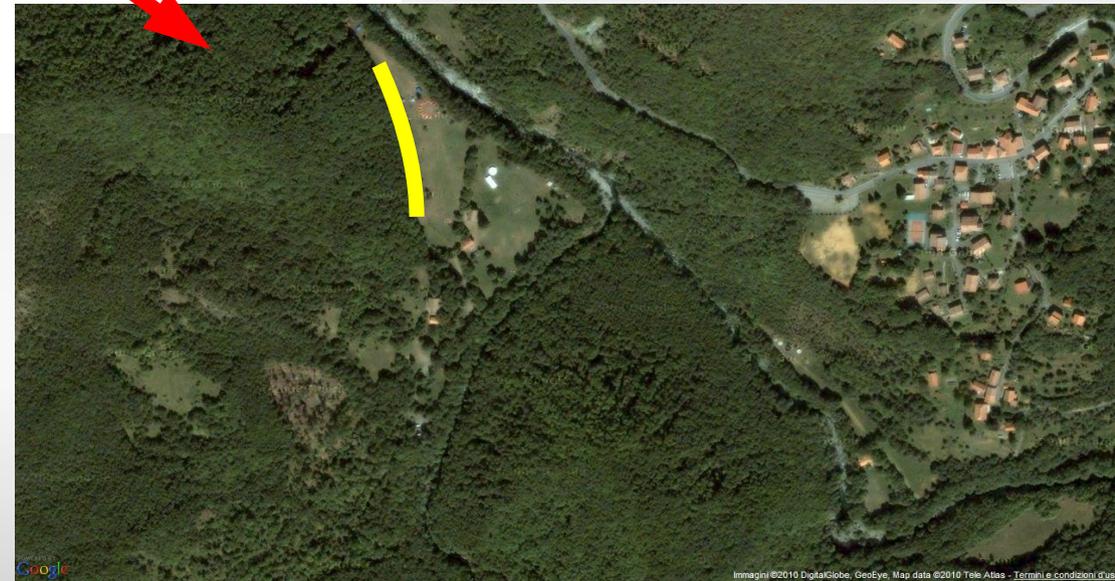
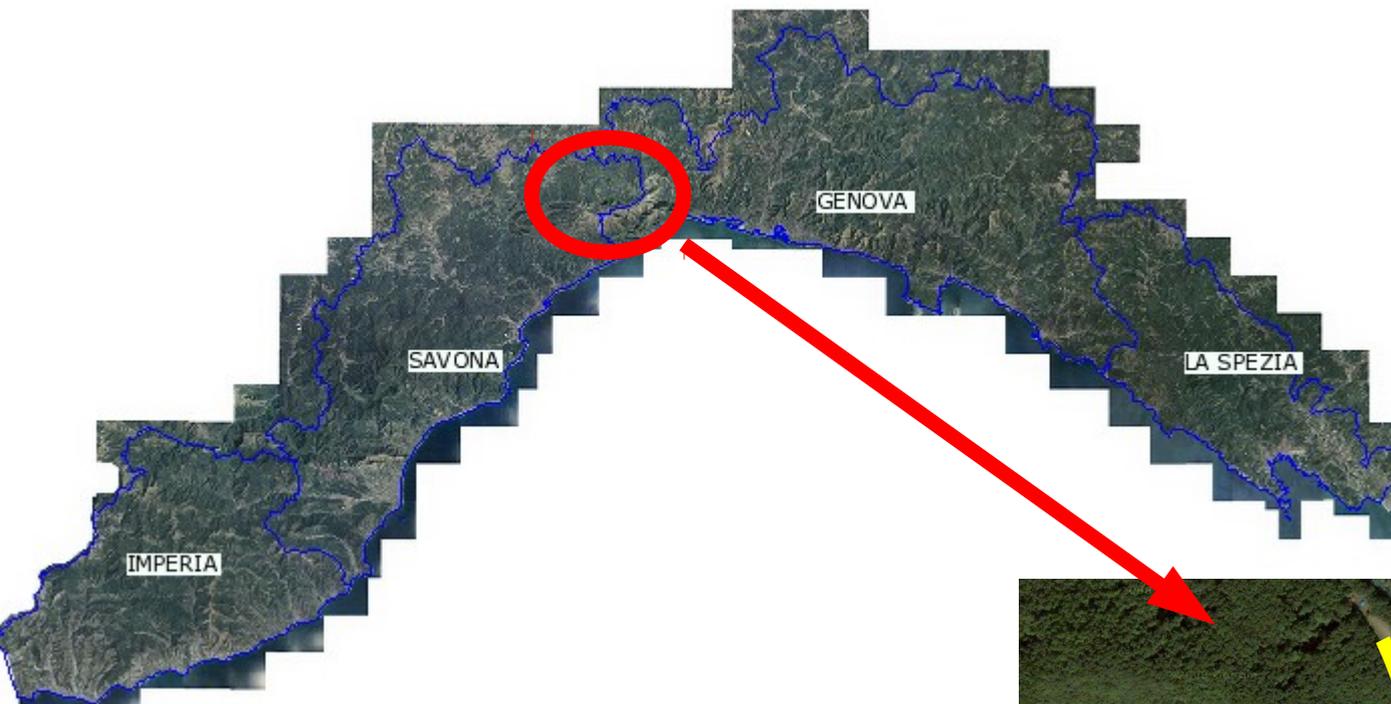
Prato

Visibilità totale del cielo
Lunghezza ~ 180 m





Inquadramento del luogo: i percorsi scelti

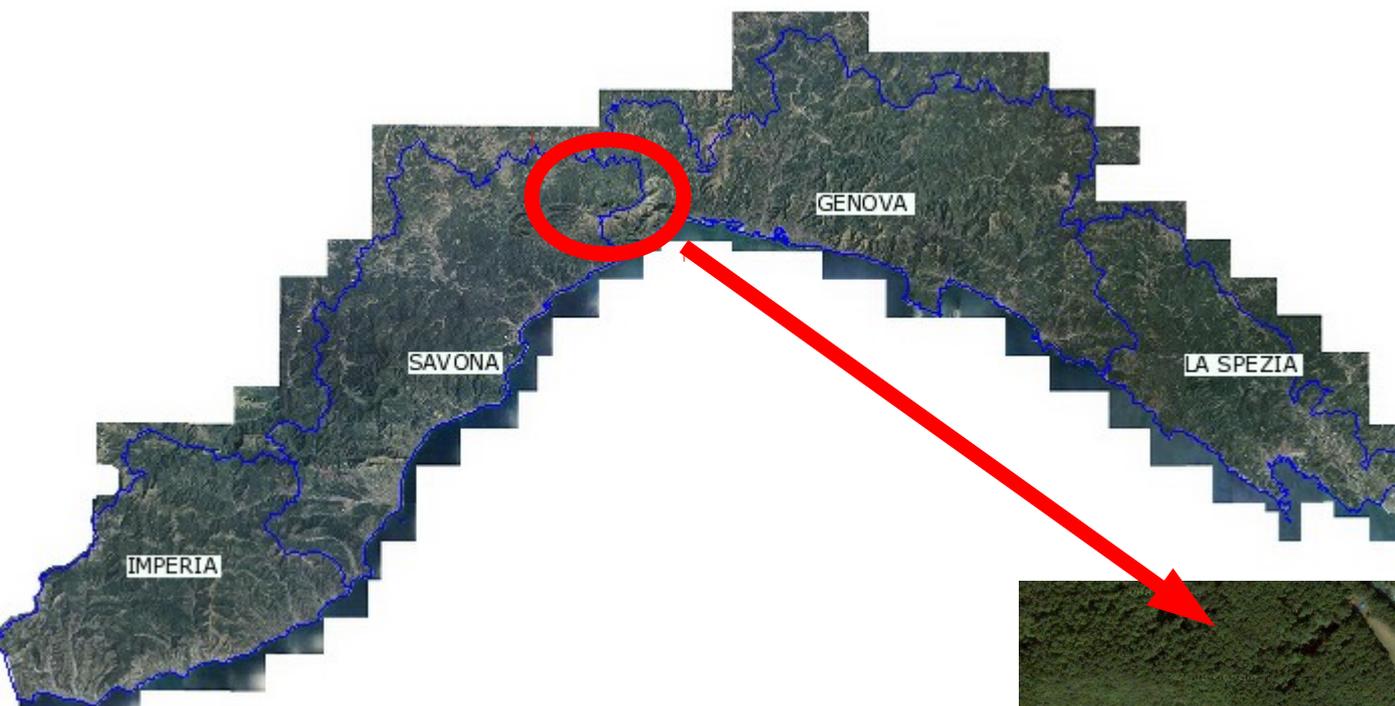


Bordo

Copertura fogliare media
Lunghezza ~ 180 m

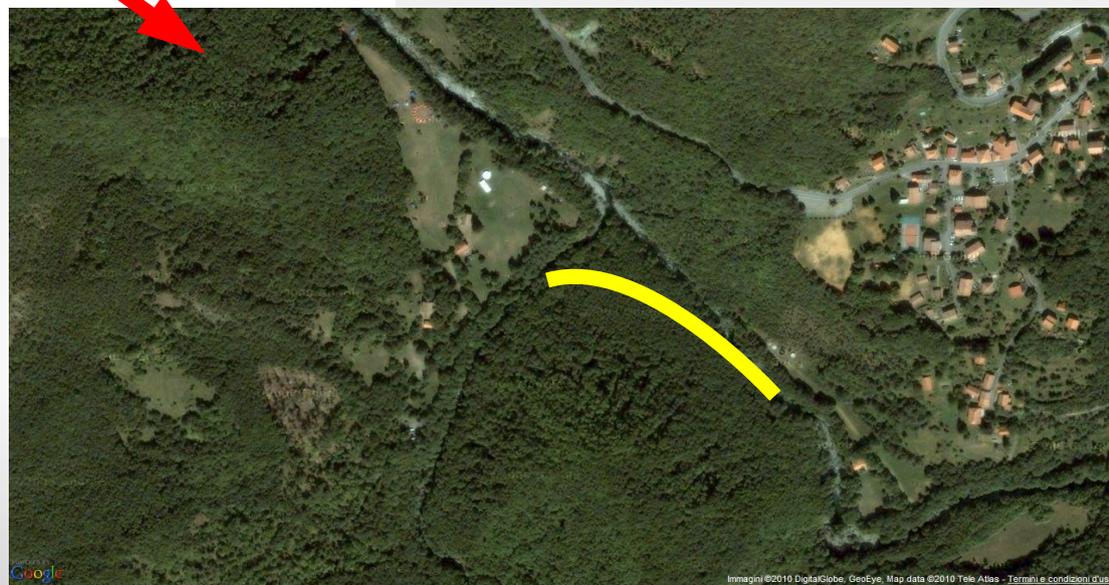


Inquadramento del luogo: i percorsi scelti



Bosco

Copertura fogliare totale
Lunghezza ~ 400 m





Campagna di misure

Strumento utilizzato

Topcon HyperPro



Rilievi effettuati

29 – Aprile – 2010 Assenza di foglie

17 – Maggio – 2010 Presenza di foglie

Modalità di rilievo

Relativo

- in appoggio alla SP di CAMN
- rate 1"
- tracciato di riferimento

Tempo reale

- DGPS
- NRTK (MAC)



Indice:

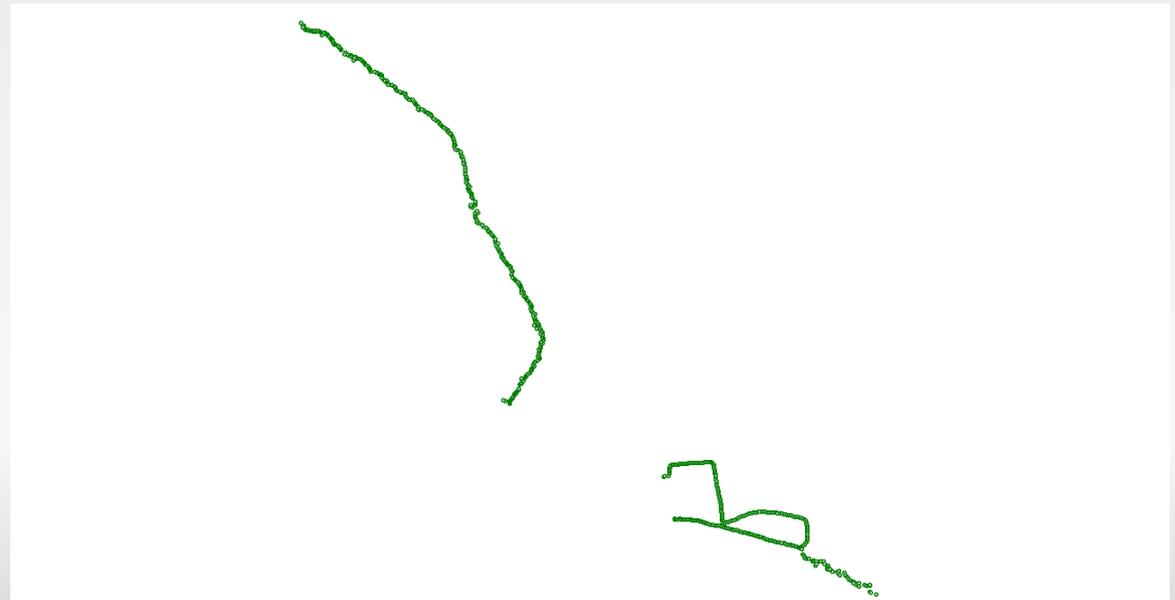
- Il sistema GNSS
- I sistemi di riferimento
- I test effettuati
- Analisi dei risultati



Analisi dei risultati

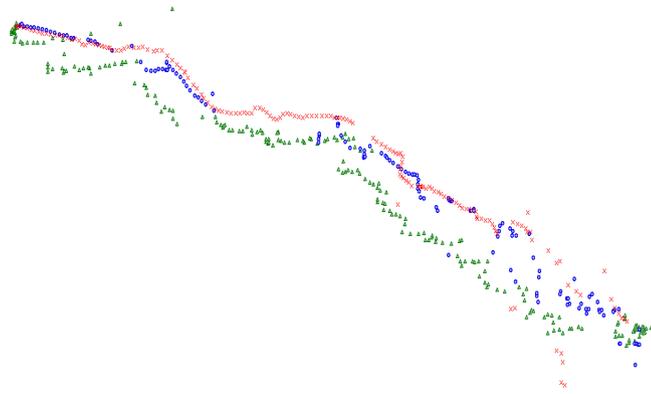
Percorso di riferimento

- PP con i dati grezzi
- Relativo rispetto alla SP di Cairo Montenotte
- Baseline di ~ 28 Km
- Osservazioni L1/L2 GPS+GLONASS

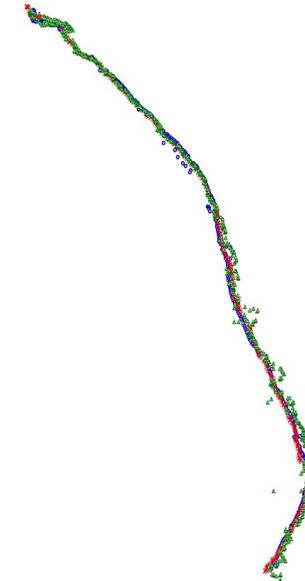




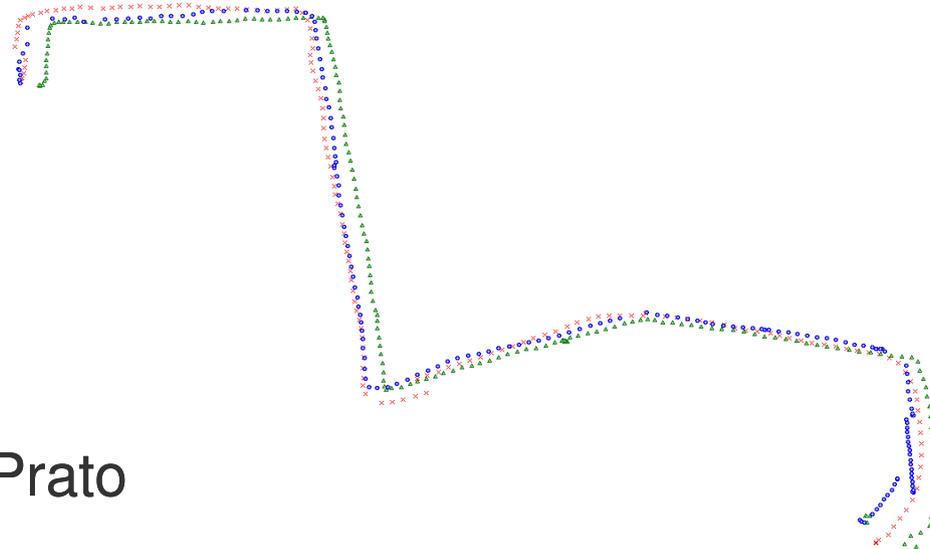
Analisi dei risultati: assenza di copertura fogliare



Bordo



Bosco



Prato

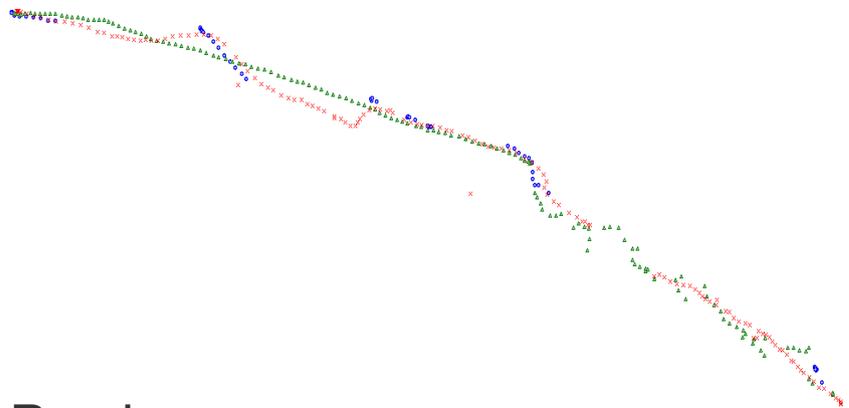


Analisi dei risultati: assenza di copertura foliageare

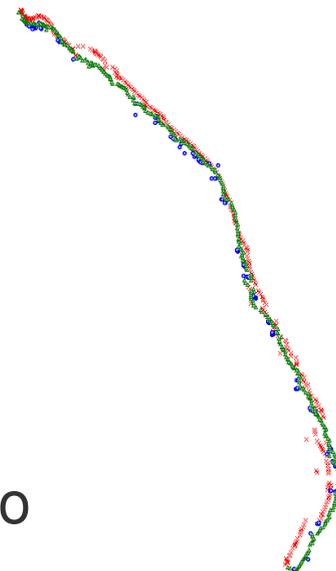
	Accuratezza [m]			Assenza di posizione		
	Prato	Bordo	Bosco	Prato	Bordo	Bosco
DGPS	1,4	2,3	1,5	5%	13%	1%
MAC(FLT)	1,1	2,2	1,2	10%	40%	11%



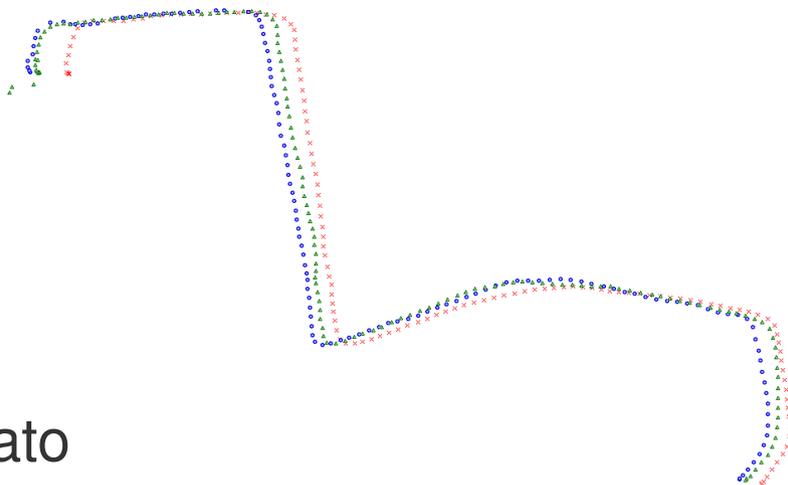
Analisi dei risultati: presenza di copertura fogliare



Bordo



Bosco



Prato



Analisi dei risultati: presenza di copertura fogliare

	Accuratezza			Assenza di posizione		
	Prato	Bordo	Bosco	Prato	Bordo	Bosco
DGPS	1,9	2,0	5,0	/	12%	6%
MAC(FLT)	1,3	1,8	4,0	/	78%	68%

- MAC in modalità FLT è paragonabile al DGPS, a fronte di una drastica riduzione della continuità
- MAC in modalità FIX consente di raggiungere accuratèzze << 10 cm



Analisi dei risultati: differenze tra le due giornate

	Accuratezza [m]			Assenza di posizione		
Senza foglie	Prato	Bordo	Bosco	Prato	Bordo	Bosco
DGPS	1,4	2,3	1,5	5%	13%	1%
MAC(FLT)	1,1	2,2	1,2	10%	40%	11%
Con foglie	Prato	Bordo	Bosco	Prato	Bordo	Bosco
DGPS	1,9	2,0	5,0	/	12%	6%
MAC(FLT)	1,3	1,8	4,0	/	78%	68%



Analisi dei risultati: prime considerazioni

- Il rilievo MAC (NRTK di fase) consente in modalità FIX di raggiungere ottime precisioni
- Il rilievo DGPS (Codice in RT) consente di raggiungere precisioni metriche e risulta meno sensibile agli effetti locali di disturbo. In genere si riesce a “portare a casa” il rilievo anche in condizioni difficili

Indistintamente, per ogni tipo di rilievo e in qualsiasi condizione, è opportuno fare riferimento a indicatori di qualità



Analisi dei risultati: Indicatori di qualità

“DOP”: Contributo geometrico della dislocazione dei satelliti

GDOP (Global Dilution Of Precision)

PDOP (Position Dilution Of Precision)



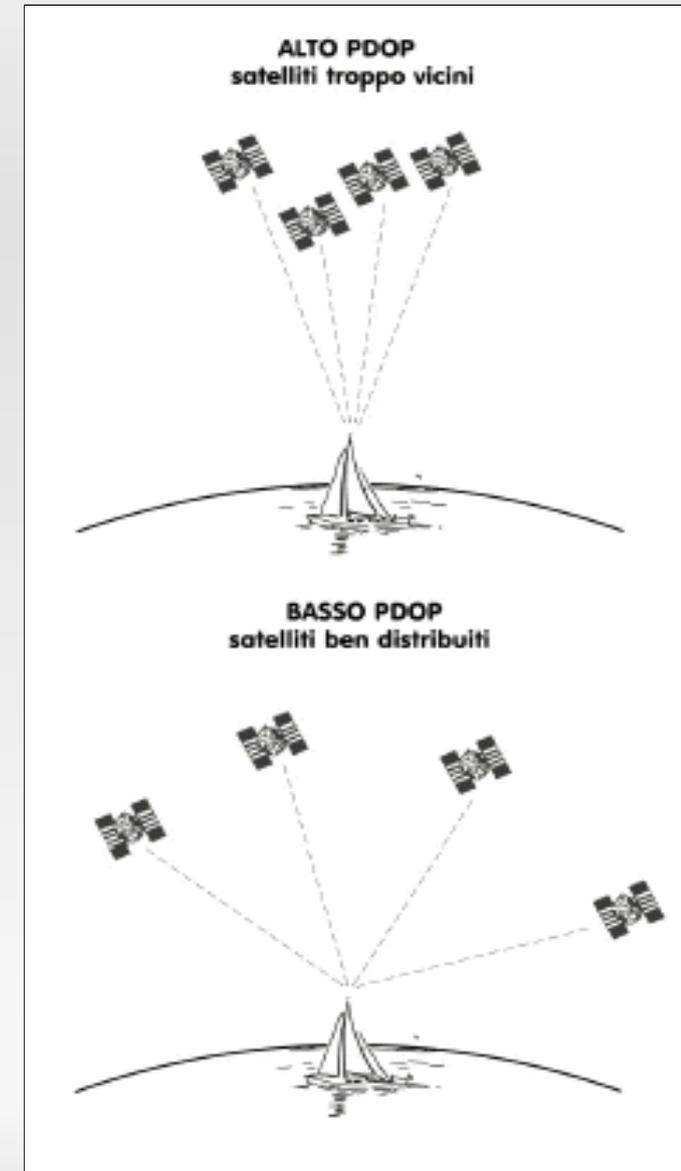
Il PDOP è legato alla precisione di posizionamento 3D:

$$\sqrt{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2)} = \sigma_0 PDOP$$



Precisione delle misure (S/N)

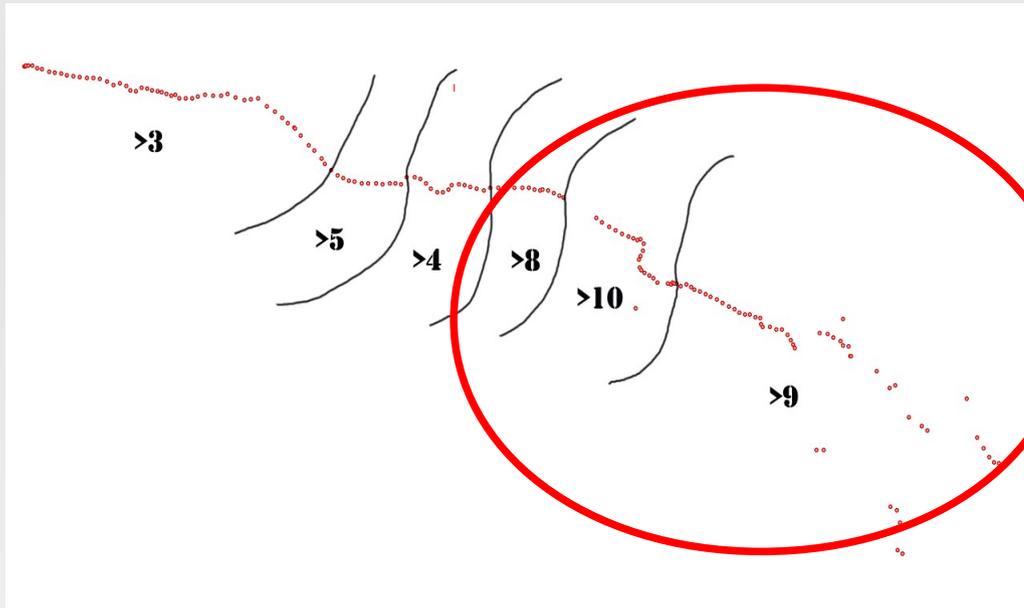
**MINORE E' IL PDOP
MAGGIORE E' LA PRECISIONE**



VALORI AFFIDABILI < 7



Analisi dei risultati: PDOP



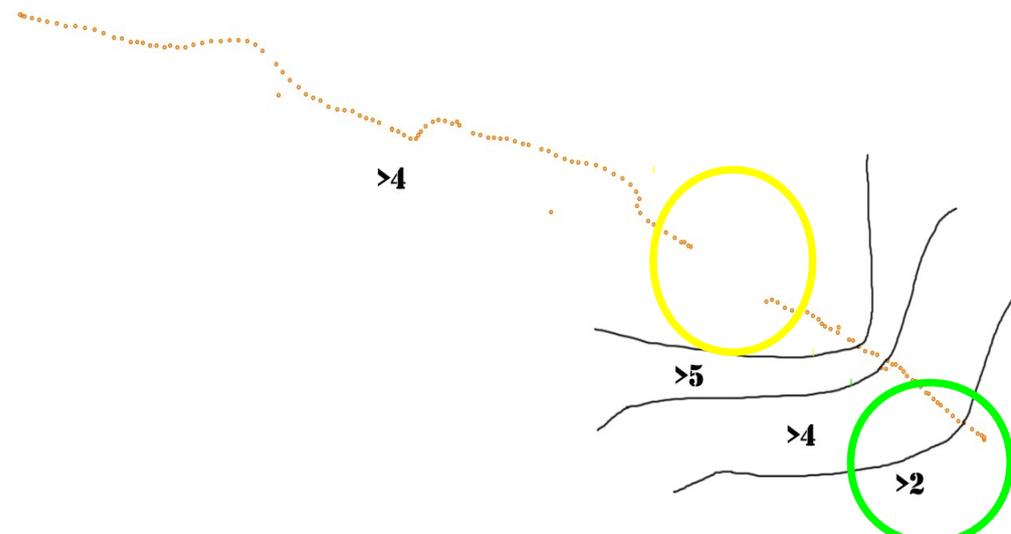
Bordo

Rilievo DGPS

- **> 7 Rilievo non attendibile**
- **Anche con PDOP=4 "buco" nel rilievo**
- **< 2 Rilievo potenzialmente attendibile**



Verificare il S/N



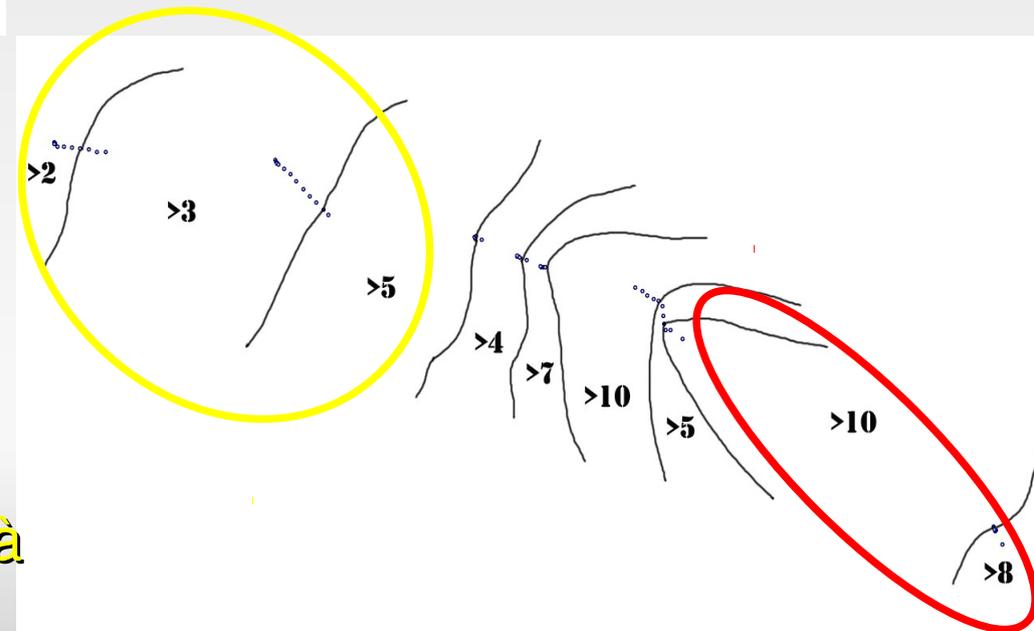


Analisi dei risultati: PDOP



Bordo

Rilievo MAC



PDOP > 7

- Rilievo assente
- Rilievo non attendibile

2 < PDOP < 7

- Talvolta rilievo assente
- Attendibilità dipende anche qualità segnale



Conclusioni

Rilievo della rete sentieristica

- il sistema NRTK di fase risulta sovradimensionato spesso con scarsa continuità
- il rilievo DGPS consente buone precisioni (da sub-metriche a qualche metro) con una buona continuità
- modalità RTK rispetto a rilievo STAND-ALONE fornisce in tempo reale indicazioni sulla qualità del posizionamento attraverso il tipo di soluzione: FIX/FLT/CODE/STD.

Controllo di qualità del rilievo

- Necessario allegare al dato rilevato informazioni su PDOP e rumorosità del segnale (S/N)
- Potranno essere utili controlli di coerenza esterna (es. raggio di curvatura della strada, pendenza massima.....)
- Controlli esterni da integrazione con cartografia, ortofoto, rilievi altri utenti



Grazie per l'attenzione

2010 © Chiara Calcagno, Tiziano Cosso, Bianca Federici, Domenico Sguerso, disponibile come

